ヒトの身体空間知覚能力
——指関節における空間二等分割, 最小分割ならびに二点識別——

内田ひろみ 倉田 博 小川芳徳 米本恭三

PERSONAL SPACE PERCEPTION IN HUMANS
——BISECTION AND MINIMUM DIVISION OF THE RANGE
OF MOTION IN FINGER JOINT, AND THE THRESHOLD
FOR TWO-POINT DISCRIMINATION——

HIROMI UCHIDA, HIROSHI KURATA, YOSHINORI OGAWA and KYOZO YONEMOTO

Abstract

To examine personal space perception, a method of identifying joint position was determined by having the subject equally bisect the joint angle, by producing a minimum increment in change of position and by selecting a threshold for two-point discrimination using the metacarpophalangeal joint of digits 2-5.

Eight healthy adults (6 males and 2 females) were used as subjects. The subjects' eyes were covered at all times to prevent any visual feedback.

Each metacarpophalangeal joint of digits 2-5 was extended, flexed and pointed to the bisection position in 6 sec (about 2 sec in each position). The difference in the bisection position selected using the index finger with the shoulder, elbow and hand in variety of positions was determined. The deviation from the mid-bisection point and the standard deviation were less when the hand was positioned most comfortably and near the face ("natural and near") than when the hand was positioned in the more uncomfortable position and further from the face ("unnatural and further").

In a second test, the index finger was moved from full extension to the full flexion in increments as small as possible at a rate of one change in position per second. Again, the effect of arm position was determined.

In case of "the natural and near" position, each increment in joint position was smaller than in "the unnatural and further" position.

In "the natural and near" position, the two point threshold was smallest of all. It was measured at the thumb side of right palm in the proximo-distal direction.

These results suggest that personal space perception of metacarpophalangeal joint is affected by the position of adjoining limb segments.

(J. Physical Fitness Japan 1986, 35 : 22~30)

key words : personal space perception, finger joint, bisection of ROM, minimum division of ROM, two-point threshold

I. 結 言

身体各部の空間的配置を知り, その位置や動きを判断する能力は, 身体空間知覚(personal space perception)といわれる。

我々が身体空間を如何なる空間として知覚して

いるかという命題について, 多くのニューロンの総合的な機能を促えるということは, 有力なストラテジーのひとつである。著者らは『体力科学』30巻⁵⁾および31巻⁸⁾に, 身体空間の知覚について検討し, 報告した。すなわち肩関節では, 水平面において関節可動範囲の二等分と知覚される点の指

示を行った結果、左右腕とも二等分指示平均値が水平屈曲側に偏倚し、右腕の方が左腕に比して偏倚が大である傾向が認められている。また、肘関節についても同様の方法で実験を行い、可動範囲の二等分点よりも伸展側へ偏倚すること、そしてその偏倚が鉛直面より水平面において大であることを認めている⁸⁾¹⁰⁾。

身体空間の知覚について、神経生理学的には酒田らの報告⁹⁾がある。それはメカニズムに関するもので、サルの前頭頂連合野のブロードマン第5野に、三次元的な位置の識別に不可欠な関節と関節、あるいは皮膚と関節の感覚情報の組み合わせに反応する関節組み合わせニューロンや、皮膚・関節組み合わせニューロンが見出されている。古くから哺乳動物には、筋紡錘の感度を調整する γ systemの機能が備わっており³⁾⁶⁾、甲殻類でさえも、筋伸張受容器を支配する efferent nerve を持っていることが知られている¹⁾。

このような機構がヒトの身体空間知覚にも関与しており、肢位による特異性と知覚の感度の可変性が存在するという可能性を持っている。しかし、これらの基礎的知見からだけでは、我々が如何なる身体空間知覚を持っているかということを知ることはできない。やはりヒトにおいて身体空間知覚能力そのものを測定する必要がある。

ヒトの随意運動における基本的動作のひとつとして、手を用いた摂食動作などが挙げられる。そうした基本的動作に関連した肢位で、身体空間知覚能力が如何なる様相を呈するかということは興味深い問題である。

そこで指関節について、空間二等分割法を用いて、顔の近くと離れた肢位、楽な肢位と無理な肢位ではどのような差異が生じるかを調べた。また新たに最小分割法による検索を行い、検討を加えた。そして表在知覚の二点識別閾値についても、同様の検索を行った。

II. 対象ならびに方法

A. 対象

被検者は健康成人男子6名（年齢31～60才）、女子2名（年齢22, 24才）、計8名である。

B. 方法

1. 二等分割法

従来、肩関節や肘関節の身体空間知覚能力を知る目的で行った方法である⁵⁾⁸⁾¹⁰⁾。最大伸展位から最大屈曲位、あるいは最大屈曲位から最大伸展位へと動かし、その可動範囲の二等分と知覚される点を指示する方法である。1動作を1秒に1回とし、伸展(屈曲)→屈曲(伸展)→二等分と6秒かけてもとの伸展位(屈曲位)に戻る。これを10回反復した。その10回の測定値より偏倚の平均値（以下偏倚と呼ぶ。）およびその標準偏差を算出した。

今回は、視覚のフィードバックがないように被検者は両眼をアイマスクで覆われて椅座し、示指、中指、薬指、小指の中手指節関節を伸展→屈曲→二等分させた。また示指と小指は外転→内転→二等分も行った。そして、この実験の目的である、手の位置によってどのように知覚能力が変わるかを偏倚の最小であった示指について行った。上肢の肢位を色々に変えて、楽な肢位（中間位で保つのに努力を要しない肢位）や無理な肢位（関節の可動域の限界で保持する努力肢位）、顔から近い所、離れた所で伸展→屈曲→二等分とその逆の屈曲→伸展→二等分を行った。（図1-A：①②③は顔の近くで楽な肢位。④は顔から離れて楽な肢位。）それらの肢位を正しく規定するために固定台を用いた。

2. 最小分割法

二等分割法での偏倚および標準偏差がどのような因子によるのかを調べるために行った。これは最大伸展位から最大屈曲位、あるいは最大屈曲位から最大伸展位へと可動範囲を如何に細かく分割出来るかをみるために、1秒1回の割合で出来るだけ小刻みに動かしていく方法である。

今回は、示指について閉眼で伸展位から屈曲させていき、最大屈曲位に達したのち再び伸展させていった。前述のごとく上肢の肢位を色々に変えて、二等分割法で偏倚および標準偏差が小さかった肢位と大きかった肢位を比較検討した。

3. 二点識別閾法

測定には市販の知覚計にバネをつけて、10gの圧が同時に二点にかかるように改造したものを使

Fig. 1. Examples of the measurements in various limb positions. A: the method of bisection and minimum division, B: the method of two-point threshold.

用し、右手掌の母指球側で長軸方向のみで行った。検索はアトランダムで行い、はっきり二点と判別出来なかった不明瞭なものは無効とした。二等分割法や最小分割法と同様に様々な肢位で行ってみた。(図1-B:①④は顔から離れて楽な肢位。②は顔から離れ無理な肢位。③は顔の近くで楽な肢位。)無理な肢位では、顔からの距離とは関係なく閾値が大きかったので、楽な肢位のみで顔の近くと離れた所を比較した。

III. 実験成績

A. 二等分割法による成績

図2は健康成人女子のもので、右手の示指、中指、薬指、小指の伸展・屈曲運動と示指、小指の外転、内転運動の偏倚と標準偏差を示したものである。偏倚と標準偏差算出時の回数Nは10であった。伸展・屈曲運動では、示指の偏倚が+5.5%、

標準偏差 $\pm 5.6\%$ で最も偏倚が小さい。小指は偏倚+21.6%、標準偏差 $\pm 4.0\%$ で伸展側へ大きく偏倚している。薬指は偏倚が+17.6%、標準偏差 $\pm 11.3\%$ と標準偏差が最も大である。外転・内転運動において、示指は偏倚-3.4%、標準偏差 $\pm 11.1\%$ で偏倚が小さく、小指は内転側に大きく偏倚している。また両指とも標準偏差が大である。

全測定例についてまとめてみると、

- ①いずれの方向の運動においても、示指の偏倚が小さい。
- ②伸展・屈曲運動において、薬指の標準偏差が大である。
- ③外転・内転運動において、小指の標準偏差が大である。

以上、3つの共通した傾向が得られた。

図3は、健康成人男子の右の示指を様々な位置させて、伸展・屈曲運動をさせたうちの4例であ

Fig. 2. Mean values of the deviation from the middle point and the standard deviation (S. D., N:10) in percent against range of motion of right finger of a female. The width of each bar represents S. D.

Fig. 3. Mean values of % deviation and S. D. (N:10) of the index finger of a male. The deviation is shown in extension-flexion and flexion-extension at different limb positions. The width of each bar represents S. D.

る。伸展→屈曲→二等分(左図)と屈曲→伸展→二等分(右図)で運動の順序と偏倚の関係をみた。伸展→屈曲→二等分の順の方では、顔の直前で手掌が左向き、指尖が上を向いた肢位に位置された時、偏倚が+0.6%と極めて小さい。これは顔の近くで楽な肢位の例である。顔の直前で手掌が前向き、指尖が左方を向いた肢位は、顔の近くで無理な肢位であり、偏倚-10.4%、標準偏差±3.5%となっている。顔から離れて楽な肢位の下に伸ばし、手掌が左向き、指尖が下に向いた肢位では、-19.0%と大きく偏倚している。上に伸ばし、手掌が右向き、指尖が上を向いた肢位では、偏倚-16.0%、標準偏差±9.3%で、この顔から離れて無理な肢位の例では、偏倚および標準偏差ともに大きくなっている。

上肢の肢位を変えて示指の伸展・屈曲運動で

は、顔の近くに持ってきて楽な肢位の時偏倚が小さく、主観的にもわかり易いということだった。特に顔の直前では、被検者全員、示指運動の描く弧が他の肢位に比して極めて大きく感じられた。逆に顔から離れていたり、無理な肢位の際は偏倚および標準偏差が大きく、主観的にもわかりにくいという者が多かった。

運動の順序と偏倚の関係については、この例でみると、偏倚の小さかった顔の近くで楽な肢位では大きな差はみられず、顔から離れていたり無理な肢位では、屈曲→伸展→二等分の順の方が偏倚が小さくなっている。しかし、この逆の例もあり、今回の検索では多少の差異はみられたものの、一定の傾向を得るまでには至らなかった。

B. 最小分割法による成績

顔の近くで楽な肢位では分割が細かく、伸展か

Fig. 4. The raw data shown were collected from same subject by the method of minimum division. The upper trace is at the comfortable position with her hand near the face. The lower one is at the more uncomfortable limb position.

ら屈曲と屈曲から伸展のパターンは直線的で似ていた。最小分割法では、細かく分割されていけば時間は長くなることになり、常に同じ大ききで分割されていけば記録されたラインは直線になる。

図4の上の方は、二等分割法で偏倚および標準偏差の小さかった、顔の直前で手掌が下向き、指尖が左方を向いた肢位での結果であるが、伸展から屈曲、屈曲から伸展とそれぞれ約60秒と時間が長くなっている。屈曲、伸展は比較的直線的なパターンを示す。

逆に下の図は、同じ被検者の二等分割法で偏倚および標準偏差の大きかった、頭の直ぐ後で手掌が前方、指尖が左を向いた肢位での成績である。分割は大まかで、伸展から屈曲、屈曲から伸展とそれぞれ約30秒と短い時間で終わっている。パターンについても屈曲させていく方は直線的でない。伸展させていく方は直線的ではあるが、分割が一定でなく、伸展と屈曲では異なったパターン

を示している。

二等分割法と最小分割法の成績は、図4にみられるようなパターンとして一致する例が多かった。

C. 二点識別閾法による成績

顔の近くに手掌を持ってきて楽な肢位、顔から離れて楽な肢位、顔の近くで無理な肢位、顔から離れて無理な肢位とでみたのが図5-Aである。上は健康成人男子の例で、顔の直前、手掌下、指尖左(1*)の閾値は8.2mm、前に伸ばし、手掌左、指尖前(2*)は9.8mm、頭の直ぐ後、手掌下、指尖左(3*)は12.5mm、後に伸ばし、手掌左、指尖後(4*)は13.0mmになっている。楽な肢位の1* 2*より無理な肢位の3* 4*の方が閾値が大きく、t検定による有意差の危険率は、2* 4*間の0.01未満を除いて、他は0.001未満と極めて低く有意差が認められた。

顔からの遠近に関わらず、無理な肢位では楽な肢位より閾値が大きくなる傾向がみられたので、

The threshold for two-point discrimination

Fig. 5. Results from the two point threshold are shown (mean $\pm$ S. D., N:10). It is measured at thumb side in the proximo-distal direction. Probabilities of differences between the various limb positions are shown.

次は楽な肢位でのみ行ってみた。図5-Bに示された通り、顔の直ぐ右、手掌左、指尖上と顔の直前、手掌左、指尖上といった顔の近くでは閾値が8.0 mmなのに対して、右に伸ばし、手掌前、指尖右や下に伸ばし、手掌左、指尖下のような顔から離れた肢位では閾値が大きくなっている。t検定による有意差の危険率はほとんど0.001未満で、楽な肢位では、顔の近くよりも離れた肢位の方が閾値が大きかった。

二等分割法、最小分割法、二点識別閾法の3通りで指関節における身体空間知覚能力を調べた結果、いずれの方法から「顔の近くで楽な肢位の時、知覚能力が高くなり、顔から離れていたり、無理な肢位の時は知覚能力が低くなる。」という傾向が得られた。

IV. 考 察

各指の中手指節関節について身体空間知覚能力を二等分割法でみた際に、日常使用頻度の高い示指では偏倚が最も小さく、他の指では偏倚が大きくなっていた。偏倚の大小は日頃の使用頻度の差として理解できるが、標準偏差は別の要因から起こるのではないかと考えられる。そこで最小分割法で調べたところ、分割の過程で個々の分割の大きさが一定でないことがみられた。これは関節角度の感覚に歪があることを示し、この歪が偏倚に影響しているのではないと思われる。つまり関節に分布している受容器、腱器官、筋紡錘等からの感覚や、関節周辺の皮膚感覚といった、深部性、表在性の体性感覚が関節角度の感覚に関与し²⁾⁶⁾⁷⁾、歪を起こさせた結果、偏倚が生じてくるという考えである。一方、標準偏差は感度の良し悪し、伸展から屈曲とその逆のパターンの相異と関係しているのではないかと推測される。このような考え方で得られた成績をみると、例えば示指については、他の指に比べて関節角度の感覚に歪が少なく、感度もかなり高いということになる。

次に、この実験の主な目的であった、上肢の肢位を変えることによって起こる身体空間知覚能力の変化について考えてみたい。

二等分割法、最小分割法、二点識別閾法の3通

りの方法から「顔の近くで楽な肢位の時、知覚能力が高くなり、顔から離れていたり、無理な肢位では、知覚能力が低くなる。」といった共通した傾向が得られた。楽な肢位と無理な肢位による成績の違いは、自然にとれる無理のない肢位よりも、不自然なとりにくい肢位の方が保たせ難く、疲労し易いので、知覚の働きが低下すると予想できる。しかし、二点識別閾法で皮膚、筋肉、関節などが引き伸ばされる無理な肢位を避けて、楽な肢位のみで試みた際に、顔の近くと離れた肢位とで差異が生じていることは極めて興味深い。

これまでに「視空間と体性空間はある程度一致する。」といわれてきている⁴⁾が、今回の検索でも顔の近く、正しくは目で見て補え易い所では、偏倚、あるいは閾値が小さく、従来の報告通り、身体空間知覚は視空間が基盤となっていると考えられる。

加えて、サルの上頭頂小葉（第5野）に特定の関節の組み合わせに反応する関節組み合わせニューロンなどがあると報告されている⁹⁾が、ヒトについてもそのようなニューロンがあると仮定すれば、新しい見地から考察することが出来る。例えば、手が自然な形で顔の側へ来ると、その時の関節の組み合わせで皮膚、筋肉、関節等からの感覚情報が感覚に関与する中枢神経系内に伝達され、前述のような関節組み合わせニューロンが働くことによって促進現象が起こる。従ってその肢位では、手の関節角度の感覚、または表在知覚の感度があるものとも考えられる。

今回は、指関節についてのみの若干の検討であるが、これにより、ヒトの身体空間知覚能力は視空間が基盤となり、かつ肢位によっても強い影響を受けるものであることが示唆された。

V. 摘 要

指関節における身体空間知覚能力を二等分割法、最小分割法、二点識別閾法を用いて測定した。示指については上肢の肢位を種々に変えて、位置による差異がみられるかどうかを検討した。

被検者：健康成人男子6名、女子2名、計8名。

A. 二等分割法による検討

閉眼で椅座し, 示指, 中指, 薬指, 小指の中指指節関節で伸展・屈曲運動を行い, 示指, 小指については外転・内転運動も行った。

示指について, 上肢の肢位を変えて伸展・屈曲運動を行った。また, 屈曲→伸展→二等分の運動の順序を変えた際の変動をみた。

(1) いずれの方向の運動においても, 示指の偏倚が小さい。

(2) 伸展・屈曲運動において, 薬指の標準偏差が大きい。

(3) 外転・内転運動において, 小指の標準偏差が大きい。

(4) 偏倚および標準偏差は, 顔の近くで楽な肢位の時小さく, 顔から離れて無理な肢位の時は大きい。

B. 最小分割法による検討

二等分割法での偏倚および標準偏差がどのような因子によるのかを調べるために, 肢位別で示指を伸展から屈曲し, 続けて伸展へと出来るだけ小刻みに分割させた。

二等分割法で偏倚および標準偏差の小さかった顔の近くで楽な肢位の時は, 細かく分割されており, 伸展から屈曲と屈曲から伸展のパターンが似ている。逆に, 偏倚および標準偏差の大きかった顔から離れていたたり, 無理な肢位では, 分割は大まかで, 伸展から屈曲とその逆のパターンは異なっている。

二等分割法における偏倚は関節角度の感覚の歪に関係し, 標準偏差は感度や伸展から屈曲とその逆のパターンの相異に関係しているものと思われる。

C. 二点識別閾法による検討

右手掌の母指球側において長軸方向のみで測定し, 上肢の肢位による変化をみた。

閾値は, 無理な肢位では顔からの遠近に関わらず大きく, 楽な肢位では顔から近くの方が離れた肢位より小さい。

以上3通りの方法に共通して, 「顔の近くで楽な肢位の時, 知覚能力が高くなり, 顔から離れていたり無理な肢位では, 知覚能力が低くなる。」という傾向が得られた。このことから, ヒトの身体空間知覚能力は, 視空間が関連しており, 肢位によってかなり影響されるものと思われる。

(受付 昭和60年4月26日)

文 献

- 1) Burkhardt, D. (1958) : Die Sinnesorgane des Skelettmuskels und die nervöse Steuerung der Muskeltätigkeit, *Ergebn. Biol.*, **20**, 27-26.
- 2) Darian-Smith, I. (1969) : Somatic Sensation, *Ann. Rev. Physiol.*, **31**, 417-450.
- 3) Granit, R. (1972) : 運動制御の原理, 本間三郎, 渡部士郎 共訳, 医歯薬出版, 東京.
- 4) 笠井 健 (1984) : 脳内空間地図の仮説, *生体の科学*, **35**, 206-214.
- 5) 倉田 博, 宮崎淳子, 小川芳徳, 増田 允 (1981) : ヒトの肩関節水平面における身体空間知覚能力——空間二等分割能力による検討——, *体力科学*, **30**, 214-219.
- 6) Lynn, B. (1975) : Somatosensory Receptors and their CNS Connections, *Ann. Rev. Physiol.*, **37**, 105-127.
- 7) McCloskey, D. I. (1978) : Kinesthetic Sensibility, *Physiol. Rev.*, **58**, 763-820.
- 8) 宮崎淳子, 倉田 博, 小川芳徳, 斎藤義弘, 時岡醇, 原田邦彦, 碓井外幸, 増田 允 (1982) : ヒトの肘関節における身体空間知覚能力——空間二等分割能力における検討——, *体力科学*, **31**, 242-250.
- 9) 酒田英夫 (1983) : 脳と認識, 中村嘉男, 酒田英夫 編, *脳の科学Ⅱ*, 朝倉書店, 東京, 171-202.
- 10) 内田ひろみ, 倉田 博, 小川芳徳, 米本恭三, 青木治人, 河野照茂, 小林一成 (1984) : ヒトの肘関節に於ける身体空間知覚について——全盲, 片麻痺及び荷重負荷の検討——, *東京慈恵会医科大学雑誌*, **99**, 1131-1135.